

四国山地から見出されたテフラに基づく山地斜面の長期安定性

西山賢一*・田村俊之**

* 徳島大学大学院ソシオ・アーツ・アンド・サイエンス研究部, 〒770-8502

徳島市南常三島町 1-1, nisiyama@ias.tokushima-u.ac.jp

** ニタコンサルタント株式会社, 〒770-0122 徳島市川内町鈴江西 38-2

Long term stability of mountain slope based on tephrochronology in Shikoku Mountains, Tokushima, Japan

* Ken-ichi NISHIYAMA and ** Toshiyuki TAMURA

* Laboratory of Geology, Institute of Socio-Arts and Sciences, University of Tokushima,
1-1 Minamijosanjima, Tokushima 770-8502, Japan.

** Nita Consultant Co., Ltd, 38-2 Suzuenishi, Kawauchi, Tokushima 771-0122, Japan

Abstract

Formative processes of mountain slope in Shikoku Mountains are discussed based on tephrochronology. We carried out identification of tephra layers in colluvial deposits at mountain slope, Shikoku Mountains, Tokushima Prefecture. These tephra named locally Ohyohchi, Nakaue-1 and -2 tephra. Ohyohchi tephra and Nakaue-1 tephra are correlative with AT tephra from South Kyushu, and Nakaue-2 tephra is correlative with K-Ah tephra from South Kyushu, in terms of the similarities of petrography, refractive index of volcanic glass. The occurrence of these tephra layers shows that K-Ah tephra overlies colluvial deposits including AT tephra. Thus, recurrence interval of slope failure was estimated to be more than ten thousand years.

Keywords: tephra, K-Ah, AT, Shikoku mountains, slope failure

はじめに

日本の山地斜面の侵食プロセスは、基本的には斜面崩壊や地すべりの繰り返しによるものであり、山地斜面の長期的な防災を考えるために、斜面崩壊・地すべりの発生間隔を求めていく必要がある。そのための指標として、山地斜面を構成する堆積物中からテフラを見出す研究がなされている（檜垣，1987 など）。ただし，研究対象地域は東北～北海道が多く，豪雨常襲地域である西南日本外帯での研究例は少ない。今回，四国山地の 2 箇所で，斜面堆積物から広域テフラを見出した。対象とした斜面堆積物は，2004 年台風 10 号豪雨による大規模な斜面崩壊が発生した徳島県那賀町大用知地区の緩斜面に露出する堆積物と，徳島県三好市東祖谷・中上地区に露出

する堆積物である。両者とも堆積物中からテフラが見出されるとともに，後者では，堆積物を被覆する表土層中からも見出された。これらのテフラを，含まれる火山ガラスの屈折率測定により同定し，テフラに基づく斜面堆積物の形成過程を検討したので報告する。

対象露頭の地形・地質とテフラの産状

徳島県那賀町大用知地区

那賀町大用知地区（図 1）では，2004 年台風 10 号豪雨による大規模な斜面崩壊が発生した（西山ほか，2005：2011 など）。崩壊土砂は大用知谷川へ流下し，崩壊源から 1km 以上流下した。大用知谷川の左岸側，約 1,000m 付近の緑色岩体を滑落崖とす

るこの崩壊の土砂が、大用知谷川の河床部を埋め、右岸の北向き緩斜面を比高約 30m もはい登った痕跡が認められる。この緩斜面には、径 1m を越えるチャート・石灰岩の巨礫（最大約 5m）が点在している。2004 年崩壊による流下土砂はほぼすべて緑色岩であることから、これらの石灰岩・チャートは、以前からこの緩斜面に点在しており、その一部が 2004 年崩壊の土砂に巻きこまれて移動したものと考えられる。2004 年の豪雨および崩壊土砂により、巨礫が点在する緩斜面の一部が削剥され、緩斜面を構成する堆積物が観察できる（図 2）。この堆積物の断面（約 2m）の方位は北西向きで、2004 年の崩壊堆積物が流下してきた方向と一致する。地表付近の厚さ 30cm 程度の褐色森林土の下に、径 0.5~1m のチャート・石灰岩の巨礫を伴う基質支持の礫層が分布する。巨礫に加え、中礫サイズの礫も含まれる

が、いずれも角礫～亜角礫である。基質は主に砂からなる。この露頭の基部近くには、明褐色を呈する厚さ 20cm 程度のテフラ（以下、大用知テフラと呼ぶ）が認められ、水平方向へ約 2m 分布する。

徳島県三好市東祖谷・中上地区

三好市東祖谷地区には複数の地すべり地形が認められる（安藤・大久保，1970；石田ほか，2007）。図 3 に、地形判読による地すべり地形の分布と、今回対象とした露頭位置を示す。対象露頭は地すべりの上ではなく、中上地区に 4 箇所認められる地すべりのうち、最も北に位置する地すべりに隣接する林道ののり面であり、祖谷川に向けて北に突出した尾根の西側の側部にあたる。この尾根の南東側には九鬼地すべり（中川・金丸，1974）、祖谷川の対岸には落合地すべりが、それぞれ位置する。

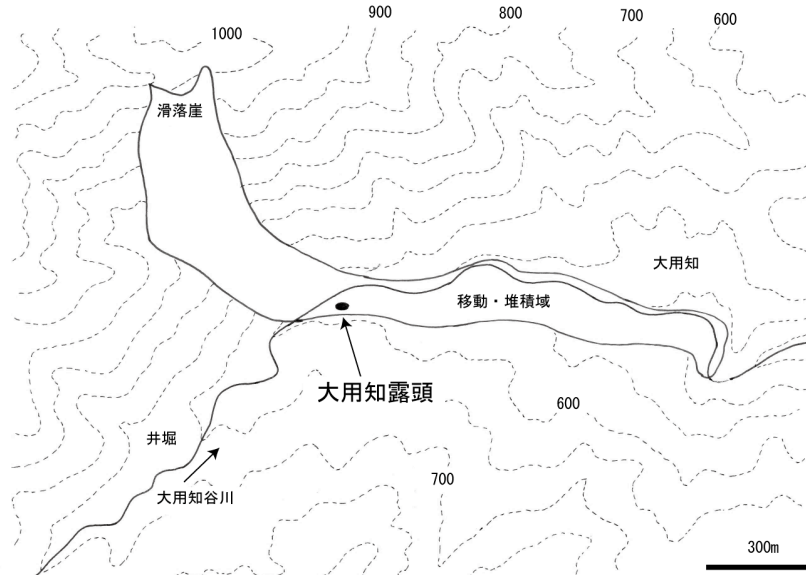


図 1 那賀町大用知地区の地形と露頭位置

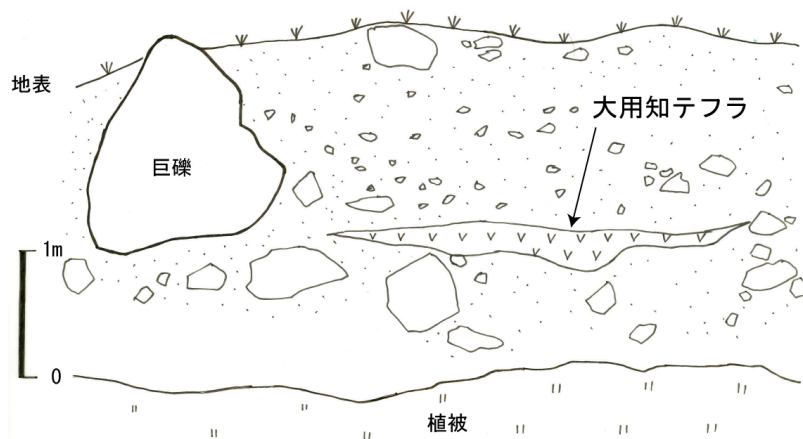


図 2 大用知テフラを挟在する大用知露頭のスケッチ

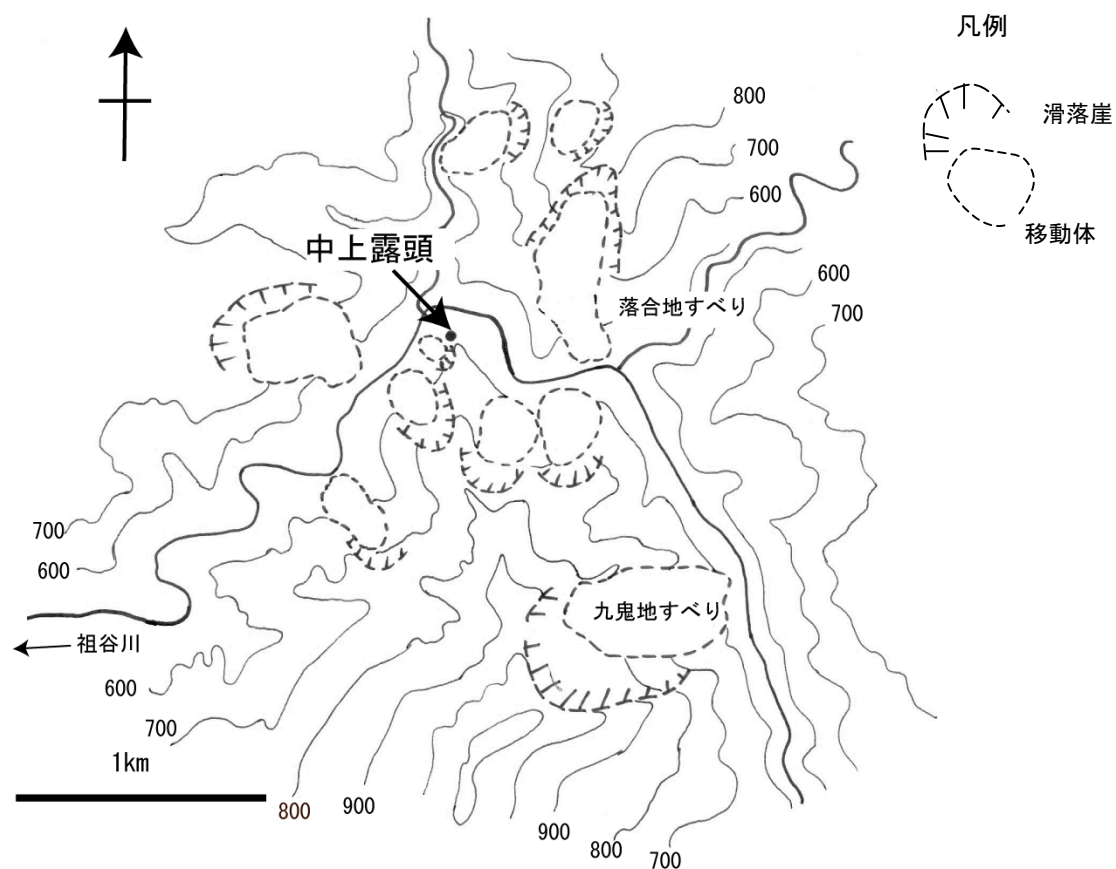


図3 三好市東祖谷・中上地区の地形と露頭位置

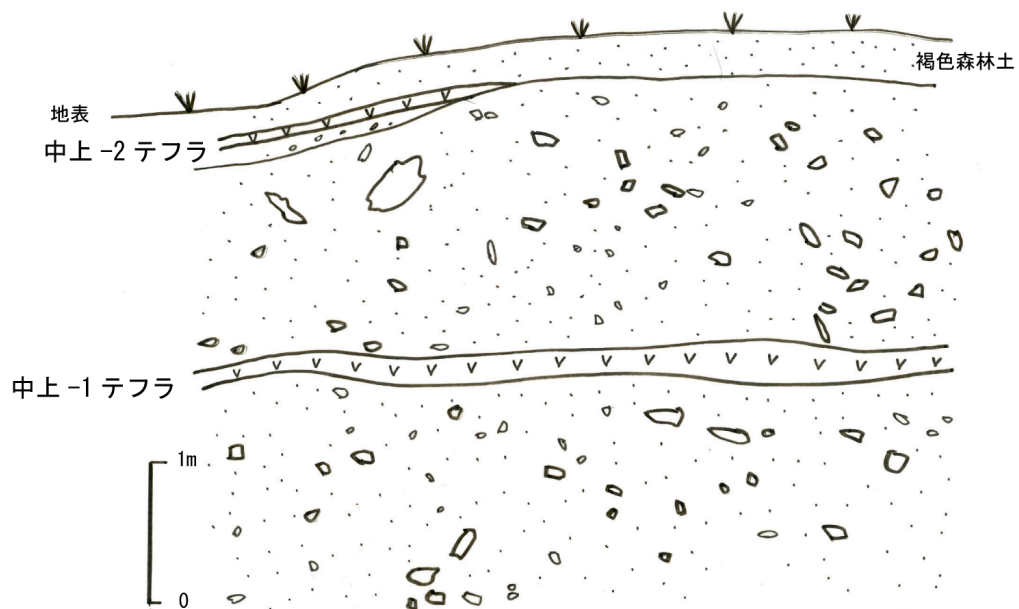


図4 中上テフラを挟在中上露頭のスケッチ

この露頭は北西向きで、片岩の角礫（2～5cm 程度が主体で、最大 30cm 程度）からなる礫支持の角礫層であり、見える範囲で厚さは約 3m である。基盤岩である片岩は露出しないものの、おそらく露頭がある林道の直下に岩盤が分布すると考えられる。角礫には級化・インブリケーションなどの堆積構造は認められない。基質は主に砂からなる。堆積物中に、厚さ 20cm 程度の明褐色のテフラが挟在しており、詳細には 2 層に区分できる（以下、中上-1 テフラと呼ぶ）。下部は厚さ 5cm 程度で、粗砂サイズのガラス質火山灰からなり、級化が明瞭である。上部は厚さ 15cm 程度で、塊状をなし、細砂サイズのガラス質火山灰からなる。このテフラは、角礫層の中で連続的に追跡でき、のり面に露出する範囲では、水平方向に約 5m 確認できる。この角礫層を覆って、厚さ 20cm 程度のテフラ（以下、中上-2 テフラと呼ぶ）が認められ、その上位は、厚さ 25cm 程度の褐色森林土に移化する。

テフラの岩石記載的特徴

テフラの岩石記載的特徴として、全鉱物組成、火山ガラスの形、重鉱物組成を把握した。テフラを極細砂粒子程度に篩い分けして 300 粒子を検鏡し、結果を粒子数の%で表した。試料の前処理および粒子の区分方法は、古澤（1995）に従った。計測結果の一覧を表 1 に示す。

那賀町大用知地区の大用知テフラは、90%以上を火山ガラスが占め、軽鉱物、重鉱物、岩片の混入はわずかである。火山ガラスはバブルウォール型を主体とし、パミス型も多く含む。重鉱物は斜方輝石が目立ち、少量の単斜輝石・緑色の普通角閃石を伴う。岩片の混入量はわずかである。

三好市東祖谷中上のテフラのうち、角礫層に挟在する中上-1 テフラは、80%以上を火山ガラスが占めており、バブルウォール型火山ガラスを主体とし、パミス型も多く含む。また、軽鉱物を若干伴うものの、重鉱物はほとんど含まれない。また、混入した岩片もごくわずかである。一方、角礫層を被覆する中上-2 テフラは、約 70%を火山ガラスが占めるが、そのほとんどはバブルウォール型で、パミス型はごく微量である。重鉱物は、斜方輝石と単斜輝石が少量含まれる。また、約 20%が混入した岩片からなる。

火山ガラスの屈折率測定に基づく対比

火山ガラス・角閃石の屈折率は株式会社古澤地質に依頼し、同社所蔵の温度変化型屈折率測定装置（MAIOT：古澤地質製）を用い、30 粒子の火山ガラスを測定した。この装置は、浸液の温度を測定しつつ屈折率を測定するもので、火山ガラスの測定精度は±0.0001 程度である（古澤，1995）。

測定結果を表 1 に示す。那賀町大用知地区の大用知テフラは、バブルウォール型が 1.4974～1.5008、パミス型が 1.4957～1.5007 となり、両者とも類似した値を示す。バブルウォール型とパミス型の比は 3:1 程度と、パミス型もやや多く含まれるものの、バブルウォール型のほうが優勢で、斜方輝石を含むという岩石記載的特徴に加え、屈折率が始良 Tn テフラ（AT、奥野（2002）によれば 29 cal ka）の値（町田・新井，2003）とほぼ一致することから、大用知テフラは AT に対比できる。また、約 9 割を火山ガラスが占め、岩片の混入はわずかであることから、二次的に移動したテフラではないと判断される。

表 1 テフラの岩石記載的特徴および屈折率測定結果

試料名	火山ガラス			石英・長石	重鉱物				岩片・風化粒子	Total	火山ガラスの屈折率	対比テフラ
	Bw	Pm	O		Opx	Cpx	GHo	Opq				
大用知	212	72	3	5	0	0	1	0	7	300	Bw:1.4974-1.5008 Pm:1.4957-1.5007	AT
中上-1	194	50	3	30	0	0	0	8	15	300	1.4971-1.5003	AT
中上-2	206	3	7	20	3	1	0	0	60	300	1.5094-1.5120	K-Ah

Bw：バブルウォール型
Pm：パミス型
O：低発泡型

Opx：斜方輝石
Cpx：単斜輝石
Gho：緑色普通角閃石
Opq：不透明鉱物

三好市東祖谷中上のテフラのうち、角礫層中の中上-1 テフラの火山ガラスの屈折率（バブルウォール型）は、1.4971～1.5003、角礫層を覆う中上-2 テフラの火山ガラスの屈折率（バブルウォール型）は、1.5094～1.5120 となり、両者のレンジは明瞭に異なる値となった。中上-1 テフラは、バブルウォール型が優勢で、斜方輝石を含むという岩石記載的特徴に加え、屈折率の値が始良 Tn テフラ（AT）の値（町田・新井，2003）とほぼ一致することから、AT に対比できる。一方、中上-2 テフラは、バブルウォール型が優勢で、斜方輝石を含むという岩石記載的特徴に加え、屈折率の値が鬼界アカホヤテフラ（K-Ah, 7.3 cal ka）の値（町田・新井，2003）とほぼ一致することから、K-Ah に対比できる。また、両テフラとも、約 7～8 割を火山ガラスが占め、岩片の混入はわずかであることから、二次的に移動したテフラではないと判断される。中上-2 テフラは混入した岩片が約 2 割とやや多いが、これは褐色森林土の直下にあり、岩片の混入が生じやすかったためと考えられる。

テフラに基づく山地斜面の長期安定性

テフラに基づく大用知・中上地区の斜面発達

AT に対比された大用知テフラは、2004 年豪雨により発生した大規模な斜面崩壊の土砂の流下に伴う斜面の削剥により現れたものである。2004 年崩壊のような斜面崩壊の発生頻度を検討する上で、今回の AT の発見は重要である。この露頭付近の地形は、大用知谷川の右岸に位置する北向きの緩斜面であり、AT の存在から、この緩斜面の形成時期を推定できる。この緩斜面を構成する土層は、径 5m を越える巨礫を伴う堆積物であり、中礫サイズの礫も円磨されていないことから、土砂の給源はごく近隣と思われる。礫種は石灰岩とチャートが多い。大用知谷川の北側には、2004 年災害で斜面崩壊が発生した斜面を含め、広く緑色岩体が分布しており（村田，2003）、わずかにレンズ状をなすチャートや石灰岩を挟在するのみであり、斜面堆積物の石灰岩とチャートが、大用知谷川の北側からもたらされたとは考えにくい。地形的に見ても、大用知谷川の南側に広がる緩斜面の堆積物であることから、緩斜面より南側の稜線が礫の給源と考えられる。以上のことから、AT の降下時期に、大用知谷川右岸に径 5m を越える巨礫を伴う崩壊土砂が流下し、緩斜面が形成されたと考えられる。この緩斜面には、2004 年の崩壊による土砂が削剥して現れた当該の露頭を除

くと、斜面上に点在した巨礫以外に露頭は観察されない。このことから、この緩斜面は、形成後、約 3 万年もの長期にわたって削剥を受けずに保存されてきたと推定される。

中上地区では、堆積物中の AT が削剥されずに保存されており、かつ構成土砂が径 10cm 以下の角礫を主体とすることから、この土砂は大規模な斜面崩壊に由来するものではなく、小規模な落石の繰り返しにより形成された崖錐堆積物と考えられる。さらに、この崖錐堆積物からなる斜面は、K-Ah 降下以降、現在まで安定して保存されてきたことになる。崖錐堆積物の露頭位置は、祖谷川の側壁上部の急斜面ではあるが、祖谷川に向かって北に突出した尾根型斜面の側部にあたるため、斜面崩壊による削剥を受けにくく、もっぱら尾根からの小規模な落石が卓越する地形条件にあったことが、崖錐堆積物が現在までの約 7,000 年もの間、安定して保存された要因のひとつと考えられる。また、この崖錐堆積物を覆う褐色森林土の直下から、火山ガラスの含有率が約 7 割の K-Ah が見出されたことは、斜面表層の土層の侵食やクリープ変形なども、長期にわたって不活発であったことを示す。なお、中上地区の南東に隣接する九鬼地すべりおよびその周辺では、崖錐堆積物または地すべり移動体から「昔地火山灰層」（厚さ 10～30cm）が見出されている（中川・金丸，1974）。火山ガラスの屈折率測定がなされていないため、このテフラの同定はできないが、おそらく今回見出した AT または K-Ah のいずれかに該当するものであろう。

最終氷期に周氷河作用が卓越した北日本の高標高地域を除くと、日本の山地斜面は、基本的には斜面崩壊や地すべりの繰り返しにより削剥されていると考えられる。西南日本外帯の斜面堆積物の検討例（竹下，1985；吉永・小岩，1996）によれば、西南日本の山地の大半は、後期更新世を通じて森林限界以下に位置しており、森林に覆われた山地斜面での周氷河作用の寄与はきわめて局地的なものと考えられる。今回の対象地域は、大用知テフラの挟在層準の標高は 570m、中上-1、-2 テフラの挟在層準の標高は 590m であり、最終氷期極相期であっても、この両地域に周氷河作用が卓越していたとは考えにくく、斜面堆積物はいずれも斜面崩壊によるものと見なされる。

斜面崩壊の発生間隔を推定することは容易ではないが、これまでの検討例では、斜面崩壊が多発するシラスで 100 年のオーダー（下川ほか，1989）、

花崗岩で 200 年のオーダー（下川，1983）と高頻度であり，発生頻度が少ない中生代の堆積岩類ではおよそ 1,000 年のオーダー（吉永・西城，1989；清水ほか，1995 など）と推定されている．今回の検討結果では，AT を挟在する斜面堆積物の存在から，斜面の剝離イベントの発生間隔は数万年のオーダーに達すると考えられる．

西南日本における斜面堆積物の形成過程

西南日本を対象とした斜面堆積物の研究のうち，紀伊半島の斜面堆積物から見出された K-Ah と AT から，K-Ah 降下前には，0 字谷の原型を形成するような斜面プロセスが卓越し，K-Ah 降下後はそれを埋積する形で斜面変化が進行しているとの指摘（吉永・小岩，1996）がある．それによれば，AT は，斜面の基部に形成された緩斜面の堆積物中からいくつか見出されており，この堆積物を下刻した谷埋め堆積物から K-Ah が見いだされることが多いことから，AT 以降に線的な侵食が生じ，完新世には埋積が生じたと考えられている．

同じ紀伊半島の例として，2004 年の台風 21 号豪雨により大規模な斜面崩壊が発生した三重県宮川流域では，谷底に断片的に分布する段丘堆積物中から AT が見出されている（柏木ほか，2006）．これと類似した例として，2003 年豪雨により大規模な斜面崩壊が発生した熊本県水俣市の宝川内地区で，同様に斜面基部を埋積する古い土石流堆積物中から，AT をもたらした A-Ito（入戸火砕流堆積物）が見いだされている（日本応用地質学会九州支部土砂災害ワーキンググループ，2004）．一方，2005 年台風 14 号豪雨で大規模な地すべりが発生した宮崎県鰐塚山地の槻之河内地すべりでは，2005 年に滑落しなかった地すべり移動体上を，AT，K-Ah，Kr-M（霧島御池，4.6 cal ka）の各テフラが被覆しており，鰐塚山地の大規模な地すべり移動の発生間隔は，数万年オーダーに達する可能性が指摘されている（西山ほか，2011）．

以上のように，西南日本では，斜面基部を構成する堆積物または谷底に断片的に分布する段丘堆積物に AT が挟在する事例が複数報告されているとともに，一部では地すべり移動体を被覆する AT も確認されている．また，大規模な斜面崩壊・地すべりによる土砂供給イベントの発生間隔は，土砂に挟在または被覆する AT の存在から，数万年オーダーの長期間に及ぶ可能性が示唆される．このことは，今回の 2 露頭におけるテフラを用いた編年結果と調

和的である．

四国の山地では，K-Ah は褐色森林土の直下から見出されることが多く，中には地すべり移動体または崩壊堆積物と思われる角礫層を K-Ah が被覆する層序関係に基づいて，地すべりの発生時期を絞り込んだ例がある（森永ほか，1997；西山ほか，2009）．また，河谷沿いに断片的に分布する小規模な段丘堆積物中から見出された例（山中ほか，2009）もある．

一方，四国の山地斜面（段丘を除く）で AT が確認された例は，町田（1996）が記載した宿毛市の露頭以外知られていない．宿毛市の露頭は，崖錐堆積物中に AT が挟在し，崖錐堆積物の上位を K-Ah が覆っており，今回記載した中上露頭の層相と酷似している．このことから，両露頭とも，テフラを挟在する斜面堆積物が形成された後に，長期間にわたって剝離されずに保存されてきたことになる．これ以外に AT を挟在する露頭が知られていないため，四国の山地では，吉永・小岩（1996）が対象とした紀伊半島と違い，最終氷期極相期～後氷期にかけての気候変動に関連した斜面形成プロセスが議論できる段階とは言い難い．このため，四国の山地斜面を構成する堆積物から AT を確認する事例を増やすとともに，斜面堆積物の形成プロセスを検討する必要がある．

まとめ

四国山地の 2 箇所で，斜面堆積物から九州起源の広域テフラを見出した．対象とした斜面堆積物は，2004 年台風 10 号豪雨による大規模な斜面崩壊が発生した徳島県那賀町大用知地区の緩斜面に露出する堆積物と，徳島県三好市東祖谷・中上地区ののり面に露出する堆積物である．大用知地区では，巨礫を含む堆積物中から AT が見出された．また，中上地区では，角礫からなる堆積物中から AT が，堆積物を覆う褐色森林土の直下から K-Ah が，それぞれ見出された．いずれも，火山ガラスの含有率が 70% を超えることから，二次的に移動した堆積物とは考えられず，テフラ降下後の長期間，剝離を受けずに保存されてきたことを示す．

大用知地区では，河谷の側方斜面に分布する巨礫を含む斜面堆積物の形成が AT 降下時までさかのぼることから，巨礫の供給により緩斜面が形成されるイベントの発生頻度が，数万年オーダーの長期間にわたることが示唆される．中上地区では，角礫からなる崖錐堆積物が，AT の降下以降，現在まで安定に保たれていることから，尾根型斜面での剝離は，

豪雨常襲地域の四国山地の急斜面であっても、長期にわたって相対的に不活発であることを示す。しかしながら、四国の山地では AT まで確認された露頭がほとんどないことから、山地斜面を構成する堆積物中から AT を見だし、斜面堆積物の形成プロセスを検討する必要がある。

謝辞 株式会社ニュージェックの北村真一氏には、中上地区の現地調査の際にご協力いただいた。徳島大学の村田明広教授には原稿を査読していただき、貴重なご意見を頂いた。以上の方々に、記してお礼申し上げます。

文 献

- 安藤 武・大久保太治, 1970, 徳島県西部結晶片岩地域の地すべり. 地質調査所月報, **21**, 395-438.
- 古澤 明, 1995, 火山ガラスの屈折率測定・形態分類とその統計的な解析. 地質学雑誌, **101**, 123-133.
- 檜垣大助, 1987, 北上山地中部の斜面物質移動期と斜面形成. 第四紀研究, **26**, 27-45.
- 石田啓祐・西山賢一・中尾賢一・元山茂樹・高谷精二・香西 武・小澤大成, 2007, 徳島県祖谷川上流域の御荷鉢帯と秩父帯. 徳島大学総合科学部自然科学研究, **21**, 47-64.
- 柏木健司・永田秀尚・常磐哲也, 2006, 三重県宮川村の春日谷における 2004 年台風 21 号時に発生した斜面崩壊の被災状況 (その 1) - 地すべりダムの下流. 地質ニュース, **624**, 30-35.
- 町田 洋, 1996, 四国南西部における始良 Tn テフラと鬼界アカホヤテフラ. 第四紀露頭集 (日本第四紀学会), **20**.
- 町田 洋・新井房夫, 2003, 新編 火山灰アトラス - 日本列島とその周辺 -. 336p. 東京大学出版会.
- 森永 宏・橋本寿夫・石田啓祐・中尾賢一・寺戸恒夫・森江孝志・福島浩三, 1997, 四国東部, 日和佐町地域の四万十帯北体の白亜系と第四系. 阿波学会紀要, **43**, 1-19.
- 村田明広, 2003, 徳島県木沢地域の黒瀬川帯北縁部の地質構造. 徳島大学総合科学部自然科学研究, **17**, 7-17.
- 中川衷三・金丸登美夫, 1974, 四国における地すべりの素因 - その 2 徳島県三好郡東祖谷山村九鬼地区の地すべり -. 日本地すべり学会誌, **12**, 25-33.
- 日本応用地質学会九州支部土砂災害ワーキンググループ, 2004, 平成 15 年 7 月九州豪雨災害特集 - 水俣・三郡山塊 -. 日本応用地質学会九州支部会報, **25**, 14-40.
- 西山賢一・石田啓祐・村田明広・岡田憲治, 2005, 2004 年台風 10 号に伴う豪雨により徳島県那賀川流域で発生した斜面崩壊の地質・地形的特徴. 徳島大学総合科学部自然科学研究, **19**, 49-61.
- 西山賢一・石田啓祐・中尾賢一・辻野泰之・森永宏・森江孝志・橋本寿夫・伊藤嘉将・山崎健太, 2009, 美馬市美馬町の地質と古生物 - 和泉層群, 鮮新〜更新統, ならびに地すべり地形 -. 阿波学会紀要, **55**, 1-12.
- 西山賢一・北村真一・長岡信治・鈴木恵三・高谷精二, 2011, 2005 年台風 14 号豪雨で発生した宮崎県梶之河内地すべりの活動履歴. 日本地すべり学会誌, **48**, 39-44.
- 西山賢一・外山 真・岡田憲治, 2011, 2004 年台風 10 号豪雨で発生した斜面崩壊に影響する雨量・地形・地質特性. 土木学会四国支部平成 23 年自然災害フォーラム論文集, 27-30.
- 奥野 充, 2002, 南九州に分布する最近約 3 万年間のテフラの年代学的研究. 第四紀研究, **41**, 225-236.
- 清水 収・長山孝彦・斎藤正美, 1995, 北海道日高地方の山地小流域における過去 8000 年間の崩壊発生域と崩壊発生頻度. 地形, **16**, 115-136.
- 下川悦郎, 1983, 崩壊地の植生回復過程. 林業技術, **496**, 23-26.
- 下川悦郎・地頭菌 隆・高野 茂, 1989, しらす台地周辺斜面における崩壊の周期性と発生場の予測. 地形, **10**, 267-284.
- 竹下敬司, 1985, 森林山地での土層の生成を考慮した急斜面の生成過程に関する考察. 地形, **6**, 317-332.
- 山中 稔・長谷川修一・水田 朗, 2009, 高松市塩江町の道路切土部で発見された鬼界アカホヤ火山灰について. 日本応用地質学会中国四国支部平成 21 年度研究発表会発表論文集, 35-38.
- 吉永秀一郎・小岩直人, 1996, 森林山地における更新世末期から完新世初頭にかけての斜面変化. 地形, **17**, 285-307.
- 吉永秀一郎・西城 潔, 1989, 北上山地北部の完新世における百年・千年オーダーの斜面変化. 地形, **10**, 285-301.

論文受付 2011 年 9 月 7 日
論文受理 2011 年 9 月 21 日